



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ILARI ARPONEN  
PANKKISYSTEEMIEN JA SYSTEEMISEN RISKIN KUVAAMINEN  
SATUNNAISILLA VERKOILLA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Tuomas Korhonen

## TIIVISTELMÄ

**Ilari Arponen:** Pankkisysteemien ja systeemisen riskin kuvaaminen satunnaisilla verkoilla.

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintutkielma, 27 sivua

Toukokuu 2018

Tuotantotalouden kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Teollinen liiketoiminta

Tarkastaja: Tuomas Korhonen

Avainsanat: banking systems, systemic risk, network topology, macroprudential policy

Tutkielman teoriaosuudessa tarkasteltiin, miten satunnaisen verkon avulla voidaan mallintaa pankkisysteemiä ja systeemistä riskiä. Aluksi johdettiin satunnainen verkko, jossa pankkien taseet toimivat verkon solmuina, joita yhdistivät pankkien väliset maksusitoumukset. Lopputuloksena löydettiin viisi erilaista parametria, joiden avulla verkkoa voidaan mallintaa ja simuloida. Seuraavaksi käsiteltiin systeemistä riskiä, sen syitä ja yksittäiseen pankkiin iskeneen shokin aiheuttamaa tartuntaa. Havaittiin, että aiheuttamalla varojen menetyksiä pankin taseeseen, tartunta alkoi levitä verkossa. Tartunta heikkeni levitessään, kunnes se lopulta pysähtyi. Tartuntaa simuloidaan toistokokeilla, mikä toimii empiiristen tutkimusten perustana.

Tavoitteena oli tutkia, millaisia malleja reaali maailman pankkisysteemit noudattavat ja millaisilla toimilla systeemistä riskiä voidaan pienentää. Tutkielman löydökset olivat seuraavia. Reaali maailman pankkisysteemit ovat kerrosmaisista, eli niistä löytyy vähän suuria, voimakkaasti kytkeytyneitä pankkeja ja paljon pieniä, heikosti kytkeytyneitä pankkeja. Makrotaloutta vakaannuttavissa keinoissa löytyi enemmän hajontaa, mutta merkittävä osa tutkimuksista ehdotti tiukempia pääomavaatimuksia ensimmäisen kerroksen suuremmille pankeille. Lisäksi havaittiin, että säätelijöiden tulisi ottaa systeemisen riskin mitauksessa käyttöön tutkimuksissa hyviksi havaitut menetelmät.

## ABSTRACT

### **Ilari Arponen: Modelling banking systems and systemic risk with random graphs**

Tampere University of Technology

Bachelor of Science Thesis, 27 pages

May 2018

Bachelor's Degree Programme in Industrial Engineering and Management

Major: Industrial Business

Examiner: Tuomas Korhonen

Keywords: banking systems, systemic risk, network topology, macroprudential policy

The theory section of this research dealt with how to model banking systems and systemic risk with random graphs. At first, a random graph is generated using financial systems' balance sheets as nodes and interbank linkages as links. As a result, five parameters are found to define and simulate a random graph. The next section examines systemic risk, its causes and financial contagion that occurs when a shock wipes a portion of individual bank's assets. Consequently, the contagion spreads through interbank exposures until fully absorbed. Simulation of contagion in models is the foundation for empirical studies.

The objective was to study, which models are applicable to real-world banking systems and which macroprudential policies decrease systemic risk. The results of this study are as follows. The real-world banking systems tiered i.e. it consists of few, large and highly-connected banks and many, small and weakly-connected banks. As for macroprudential policies, a single conclusion is difficult to determine. However, most of the studies suggested that first-tier banks should have greater capital requirements, and regulators should implement measures for systemic risk that are proven useful in empirical studies.

## ALKUSANAT

Tämä tutkielma ei ollut pelkästään 10 opintopisteen suoritus kandidaatintyöhön, vaan oppimiskokemus pankkisysteemeistä, systeemisestä riskistä, tieteellisestä kirjoittamisesta ja tiedonhausta. Vaikka minulla ei ollut mitään aiempaa tietoa tutkielman aiheista, koen onnistuneeni hyvin sekä työssä että oppimisessa. Kenties tärkein oppi mitä olen tämän projektin saanut, on miten lähteä tutkimaan tuntematonta aihetta. Kyseinen taito lienee tärkein myös työelämää ja jatko-opintoja ajatellen.

Haluan kiittää professori Kanniaista aiheen rajaamisessa, Tuomas Korhosta vinkeistä ja ajatuksista, kaikkia oponioijia ja puheenjohtajia, jotka ovat ottaneet kantaa tutkielmaani ja ennen kaikkea muita kolmannen vuosikurssin ahertajia, joilta olen saanut vertaistukea. Tämä tutkielma sisältää yli 7000 sanaa mutta seuraava on niistä kaikista painokkain:

Kiitos.

Tampereella, 09.05.2018

Ilari Arponen

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Metodologinen kuvaus .....	2
1.2	Työn rakenne.....	3
2.	SATUNNAINEN VERKKO PANKKISYSTEEMIN MALLINNUKSESSA.....	4
2.1	Satunnaisten verkon määrittely .....	5
2.2	Pankin tase osana verkon solmua.....	5
2.3	Pankkien väliset yhteydet verkossa.....	7
2.4	Satunnaisten verkon luominen .....	8
2.5	Kritiikki satunnaisia verkkoja kohtaan.....	9
3.	SYSTEEMINEN RISKI SATUNNAISISSA VERKOISSA.....	10
3.1	Systeemisen riskin syyt .....	10
3.1.1	Operationaalinen riski .....	10
3.1.2	Likviditeettiriski.....	11
3.1.3	Muita riskityyppejä .....	11
3.2	Tartunnan leviäminen.....	11
4.	EMPIIRISET TULOKSET PANKKISYSTEEMEISTÄ .....	13
4.1	Tutkimusten metodologia.....	13
4.2	Teoreettisten mallinnusten tulokset.....	14
4.3	Reaalimaailmasta saadut tulokset.....	17
4.4	Tulosaineiston yhteenvedo.....	20
5.	PÄÄTELMÄT .....	22
6.	LÄHTEET.....	25

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

$A$	Pankkisysteemin kokonaisvarallisuus
$a$	Yksittäisen pankin varallisuus
$\beta$	Pankkisysteemin yksityislainojen suhde kokonaisvarallisuuteen
$\gamma$	Yksittäisen pankin nettovarallisuus
$d$	Yksittäisen pankin talletukset
$E$	Pankkisysteemin yksityislainojen summa
$e$	Yksittäisen pankin yksityislainat
$I$	Pankkien välisten lainojen summa
$i$	Yksittäisen pankin pankkien väliset lainat
$N$	Pankkien lukumäärä
$s$	Shokin valuuttamääräinen koko
$w$	Nuolen paino
$Z$	Pankkisysteemin nuolten lukumäärä
$z$	Yksittäisestä pankista lähtevien nuolten lukumäärä

# 1. JOHDANTO

Nykytutkimuksen valossa tiedetään, että erityisesti pankkien välisillä maksusitoumuksilla ja johdannaissopimuksilla oli merkittävä rooli vuonna 2007 puhjelleen finanssikriisin synnyssä (Gai & Kapadia 2010; Haldane & May 2011; Krause & Giansante 2012). Maailmanlaajuista rahoituskriisiä edelsi Yhdysvalloissa esimerkiksi asuntolainoja koskeva subprime-kriisi, investointipankki Lehman Brothersin konkurssi sekä rahoitusyhtiö AIG:n pelastaminen (Krause & Giansante 2012). Pian myös pankkisysteemit (banking system) Euroopassa ajautuivat vaikeuksiin ja maailmanlaajuinen rahaliikenne heikkeni merkittävästi (Goddard et al. 2009).

Rahoituskriisi kasvoi maailmanlaajuisesti ongelmaksi pankkilaitosten välisten yhteyksien kautta (Haldane & May 2011). Toimijan joutuessa maksukyvyttömäksi, se ei kykene maksamaan sitoumuksiaan velkojilleen, jotka kärsivät luottotappion. Mikäli velkojan kärsimä tappio on riittävän suuri, se myös ajautuu maksukyvyttömäksi levittäen kriisiä eteenpäin omien maksusitoumuksiensa muodostamien yhteyksien kautta. Black et al. (2012) mukaan tätä ilmiötä kutsutaan tartunnaksi (contagion) ja siihen liittyvää epävarmuutta systeemiseksi riskiksi (systemic risk). Koska rahoituslaitokset harjoittavat globaalia liiketoimintaa, yhden toimijan konkurssilla voi olla merkittäviä seurauksia muille toimijoille maantieteellisestä sijainnista riippumatta.

Edellä mainitut tapahtumat ovat motivoineet tutkielman aiheeksi juuri pankkisysteemit ja systeemisen riskin. Tutkielman rajauksena ovat satunnaiset verkot (random graphs), joita tarkastellaan luvussa 2. Lisäksi tutkimuskysymyksinä ovat:

- Mitä makrotaloutta vakaannuttavia keinoja tutkimukset ehdottavat?
- Minkälaisia malleja eri maiden pankkisysteemit noudattavat?

Makrotaloutta vakaannuttavilla keinoilla (macroprudential policy) pyritään pienentämään systeemistä riskiä. Tutkimuksissa pyritään usein simuloimaan pankkisysteemiä erilaisilla malleilla tulosten saamiseksi, jotta löydetäisiin kyseisiä toimenpiteitä. Siksi työn teoriaosuudessa onkin luontevaa käsitellä, miten pankkisysteemiä ja systeemistä riskiä voidaan mallintaa. Kun teoria on esitelty, tutkielman tulososiossa ja päätelmissä vastataan tutkimuskysymyksiin.

## 1.1 Metodologinen kuvaus

Kandidaatintutkielmaa varten on käytetty laajasti eri aineistoja sekä julkisista lähteistä että TTY:n tarjoamista tietokannoista. Erityisesti hakukone Google Scholar ja TTY:n tietokanta Andor ovat olleet hyödyllisiä lähteitä artikkeleita etsittäessä. Myös Scopus ja Web of Science -tietokannat ovat olleet käytössä työn edetessä. Työn alkuvaiheessa Google Scholar oli eniten käytössä, ja hakusanoina toimivat yleiset termit ”banking systems” ja ”systemic risk”. Tiedonhaun koulutusten jälkeen painopiste hauissa siirtyi Andoriin, ja samalla hakusanat muuttuivat tarkemmiksi: Tietoa haettiin muiden muassa sanoilla ”random graphs”, ”contagion”, ”macroprudential policy” sekä ”network models”.

Pankkisysteemeistä, systeemisestä riskistä ja satunnaisista verkoista löytyy paljon tutkimuksia, joten artikkelien laatuun kiinnitettiin huomiota. Arvioinnissa huomioitiin, oliko tutkimus vertaisarvioitu ja minkä julkaisutason Julkaisufoorumi oli lehdelle antanut. Lähdeartikkelien taso on pääasiassa Julkaisufoorumin luokkaa kaksi eli johtavaa tasoa. Tutkielman ensisijaisina lähteinä ei ole käytetty sellaisia julkaisuja, jotka eivät ole täyttäneet perustasoa. Ensisijaisista lähteistä haettujen toissijaisten lähteiden taso ei aina yllä perustasolle, mutta niiden käyttöä on tarkoin harkittu.

Hyödyllisimpiä lehtiä tutkielman laatimisessa ovat olleet Journal of Economic Dynamics and Control, Journal of Financial Stability, sekä Journal of Banking and Finance, jotka ovat tarjonneet paljon erilaisia malleja pankkisysteemien ja systeemisen riskin kuvaukseen. Lehtien sisältämät tutkimukset ovat olleet melko matemaattisia, mutta ymmärrettäviä teknisen alan opiskelijalle. Työn pääasiallisena tulosaineistona ovat tutkimukset, joissa selvitetään, millä toimenpiteillä systeemistä riskiä voidaan pienentää ja minkälaisia teoreettisia malleja eri alueiden pankkisysteemit noudattavat. Lisäksi työssä on käytetty tutkimuksia, jotka käsittelevät verkkoja pankkisysteemien mallintamisessa. Kyseiset lehdet ovat arvostettuja ja tutkimuskysymyksiä käsitteleviä artikkeleita löytyy niistä paljon.

Työn tulososio jaettiin kahteen osaan. Ensimmäisenä kerättiin 11 tutkimusta, jotka hyödyntävät teoreettisia malleja tulosten saamiseksi. Toiseksi kerättiin 10 tutkimusta, jotka rakentavat pankkisysteemin reaali maailmasta kerätyn datan avulla. Teoreettisten mallien aineisto on valittu 2000-luvun alusta nykyhetkeen, jotta se edustaisi kronologisesti tutkimuksen kehitystä. Myös julkaisun laatuun kiinnitettiin erityistä huomiota ja aineiston keskiarvo Julkaisufoorumin tasolla on 2,2. Toiseen aineistoon valittiin artikkeleja, jotka käsittelevät mahdollisimman laajasti eri alueiden pankkisysteemejä. Empiiristen tutkimusten löytäminen parhaista julkaisuista oli hieman hankalampaa ja aineiston keskiarvo Julkaisufoorumin tasolla on 1,4.



## 1.2 Työn rakenne

Toisessa ja kolmannessa luvussa tutkitaan, miten systeemiä ja siihen liittyvää riskiä voidaan mallintaa satunnaisilla verkoilla. Luvussa 2 määritellään, mitä satunnaisilla verkoilla tarkoitetaan, miten verkko voidaan muodostaa käyttämällä pankkien taseita solmuina ja yhdistämällä ne toisiinsa pankkien välisten maksusitoumusten avulla. Lisäksi tutkitaan, miten verkkoa voidaan simuloida ja siten saada tuloksia systeemin toiminnasta. Luvussa 3 selvitetään, mitä systeeminen riski tarkoittaa satunnaisissa verkoissa: esitellään systeemisen riskin syitä ja kuvataan, miten tartunta leviää satunnaisessa verkossa.

Satunnaiset verkot eivät kuvaa parhaiten reaali maailman ilmiöitä, mutta ne ovat helpommin ymmärrettäviä kuin muun tyyppiset verkot. Kerrosmaiset (tiered) ja kompleksiset (complex) verkot noudattavat paremmin reaali maailman ilmiöitä (esimerkiksi Krause & Giansante 2012; Minoiu & Reyes 2013; Teteryatnikova 2014), mutta niitä on melko vaikea esitellä kandidaatintyön laajuudessa. Satunnaiset verkot ovat sen sijaan esiteltävissä riittävällä tarkkuudella ja ne ovat helpommin ymmärrettävissä teknisen alan opiskelijoille. Työn yhtenä tarkoituksena on esitellä, miten pankkisysteemejä voidaan kuvata ja saada tuloksia verkon rakenteesta. Näistä syistä on luontevaa tarkastella satunnaisia verkkoja, mutta niitä tarkastellaan silti kriittisesti alaluvussa 2.4 ja samalla esitellään kerrosmaisten verkkojen käsite.

Kun teoreettinen viitekehitys on tuotu ilmi, tarkastellaan miten eri maiden ja alueiden pankkisyteemit noudattavat teoreettisia verkkomalleja. Alaluvussa 4.2 esimerkiksi todetaan, että monen maan pankkisyteemeistä löytyy kerrosmainen rakenne. Alaluvussa 4.3 esitellään konkreettisia toimenpiteitä, joilla syteemistä riskiä voidaan pienentää. Molempien alalukujen tulokset on kerätty taulukkomuotoon ja tutkimusten tuloksia esitellään kuvailevin termein. Lopuksi esitellään jatkotutkimustarpeet alaluvussa 4.2 ja luvussa 5 kootaan päätelmät.

## 2. SATUNNAINEN VERKKO PANKKISYSTEEMIN MALLINNUKSESSA

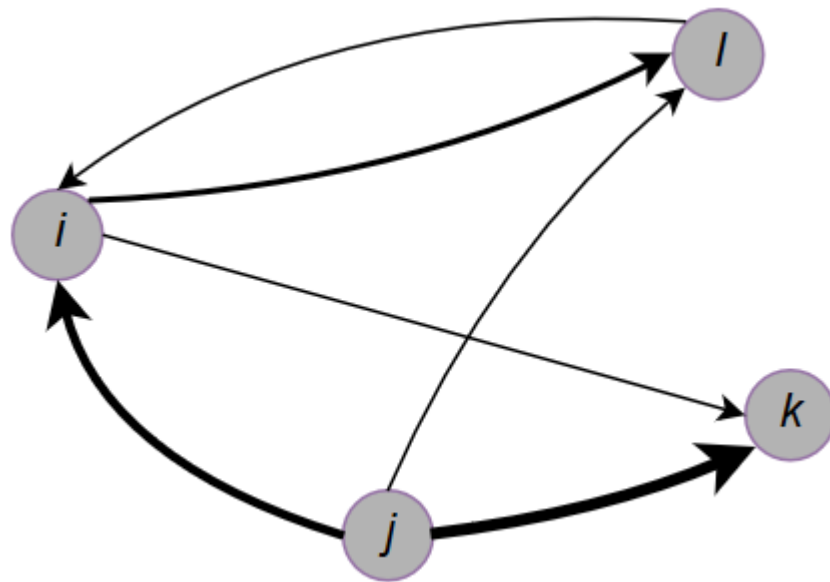
Pankkisysteemi on pankkien ja niiden välisten yhteyksien muodostama verkko (Black et al. 2012). Mallinnettaessa pankkisysteemiä, verkon solmuja ovat tyypillisimmin pankkien taseet. Näitä pankkeja yhdistävät verkon nuolet, jotka kuvaavat pankkien välisiä lainoja (Nier et al. 2007; May & Arinaminpathy 2010; Teteryatnikova 2014). Verkkoteoria on matematiikan osa-alue, joka on ollut keskeisessä roolissa pankkisysteemejä kuvattaessa. Ensimmäisiä verkkoteorian sovelluskohteita löytyi biologiasta, kun eliöiden välisiä suhteita ja tartuntojen leviämistä pyrittiin mallintamaan matemaattisesti (Haldane & May 2011). Verkkoteoria on suhteellisen uusi sovellus pankkisysteemejä kuvattaessa, mutta mielenkiinto tutkimusta kohtaan kasvoi finanssikriisin jälkeen, kun huomattiin, että yksittäisen pankin riskin kuvaamisen sijaan tulisi kiinnittää huomiota koko systeemiä vaarantavaan riskiin (Haldane & May 2011).

Lukuisat tutkijat ovat kehittäneet malleja pankkisysteemien ja systeemisen riskin kuvaukseen. Yksi parhaiten tunnetuista on Allenin ja Galen (2000) kehittämä malli, jossa he tutkivat, mikä vaikutus verkon yhdistyneisyydellä on tartunnan leviämiseen (Krause & Giansante 2012). Tässä tutkielmassa painopisteenä ovat satunnaiset verkot, joita ovat tutkineet esimerkiksi Nier et al. (2007), Gai & Kapadia (2010) sekä May & Arinaminpathy (2010). Satunnaiset verkot eivät kuitenkaan kuvaa täydellisesti reaalia maailman pankkisysteemejä, joten niitä tarkastellaan kriittisesti ja esitellään malleja, jotka kuvaavat paremmin ilmiötä. Satunnaiset verkot esimerkiksi olettavat, että pankit ja niitä kuvaavat solmut ovat keskimäärin samankokoisia, mikä ei todellisuudessa pidä paikkansa (Minou & Reyes 2013; Teteryatnikova 2014).

Oletuksistaan ja puutteistaan huolimatta satunnaisilla verkoilla voidaan melko yksinkertaisesti simuloida systeemisen riskin leviämistä ja löytää makrotaloutta vakauttavia keinoja (Nier et al. 2007; Haldane & May 2010). Tutkimuksissa löydetty toimenpiteet lienevät tärkeimpiä yhteiskunnan kannalta, sillä niiden avulla voidaan asettaa tarkempia vaatimuksia esimerkiksi pankkien pääomarakenteille ja maksukyvykkyydelle (Nier et al. 2007; Haldane & May 2010). Reinhart ja Rogoff (2008) arvioivat edellisen finanssikriisin laskeneen bruttokansantuotetta USA:ssa keskimäärin kahdella prosentilla ja että kriisiä edeltäneeseen BKT:n kasvuvauhtiin pääseminen kestää keskimäärin kaksi vuotta. Suomessa pudotus oli vieläkin jyrkempi: BKT laski yli viisi prosenttia (Reinhart & Rogoff 2008). Mikäli uusilla makrotason toimenpiteillä voitaisiin vaikuttaa kriisien leviämiseen, olisi sillä täten merkittäviä vaikutuksia koko maailmantalouteen.

## 2.1 Satunnaisen verkon määrittely

Satunnaisen verkon käsitteen esittelivät matemaatikot Erdos ja Renyi (1960) tutkiessaan yksiä ensimmäisiä verkkojen malleja (Nier et al. 2007), joihin tutkijat määrittelevät formaalin kuvauksen satunnaiselle verkolle (Erdos & Renyi 1960). Tässä tutkielmassa käytetään laajaa määritelmää: Satunnainen verkko koostuu ennalta määrätyistä solmuista ja niitä yhdistävistä kaarista. Yhteyksien lukumäärä solmuittain on tilastollisesti jakautunut, eikä niille tapahdu muutoksia, kun verkko on määritelty. (Tetryatnikova 2014) Satunnainen verkko on suunnattu, eli solmuista voi lähteä ja saapua nuolia, ja painotettu, eli nuolille voidaan antaa painoja toisiinsa nähden. Kuvassa 1 on kuvattu määritelmän mukainen satunnainen verkko. Monimutkaisempaa verkkoa kuvaillaan tässä tutkielmassa ei-satunnaiseksi tai kompleksiseksi.



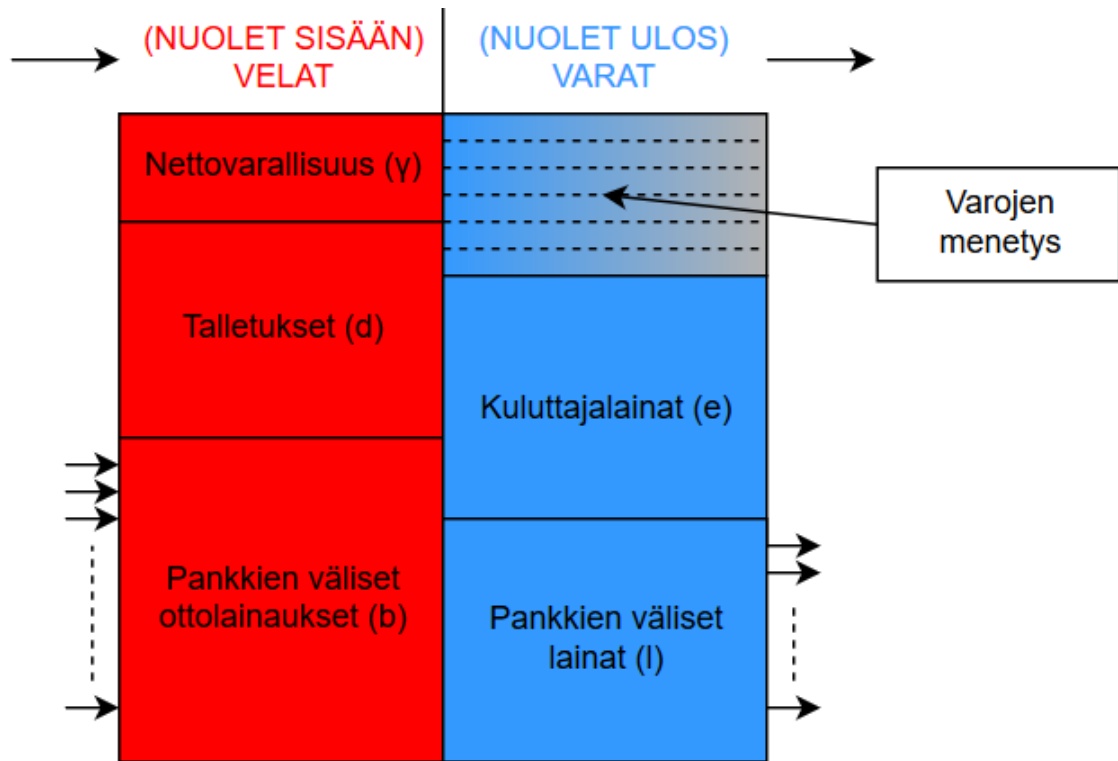
**Kuva 1.** Suunnattu ja painotettu verkko, jossa on neljä solmua. Nuolen paksuus kuvaa sen painoa.

Määritellään lisäksi muutama verkon ominaisuuksia kuvaava käsite. Solmun lähtöasteella tarkoitetaan solmusta lähtevien nuolten lukumäärää ja maaliasteella solmuun tulevien nuolten lukumäärää. Verkon sanotaan olevan täydellinen, jos jokaisen verkon solmun lähtö- tai maaliaste on positiivinen. Muussa tapauksessa verkko on epätäydellinen. Esimerkiksi kuvan 1 verkko on täydellinen, sillä jokainen solmu lähettää tai vastaanottaa nuolen. Lisäksi huomataan, että esimerkiksi solmun  $j$  lähtöaste on kolme ja maaliaste nolla.

## 2.2 Pankin tase osana verkon solmua

Kuten luvun alussa todettiin, pankkisysteemien tapauksessa verkon solmuja kuvataan tyypillisesti pankkien taseilla ja verkon nuolia pankkien välisillä maksusitoumuksilla.

Kuvassa 2 on esitetty kuvaus pankin taseesta osana satunnaisen verkon solmua. Vaikka kyseessä on erittäin yksinkertaistettu kuvaus pankin pääomarakenteista (Haldane & May 2011), sitä käytetään lukuisissa tutkimuksissa simuloinnin apuvälineenä (esimerkiksi Nier et al. 2007; May & Arinaminpathy 2010; Gai & Kapadia 2010). Edistyneemmissä malleissa, kuten Krausen ja Giansanten (2012) sekä Teteryatnikovan (2014), käytetään monimutkaisempia kuvauksia taseista, mutta tässä tutkielmassa keskitytään Nier et al. (2007) sekä Gai & Kapadia (2010) malleihin sen helpon johdettavuuden vuoksi.



**Kuva 2.** Kuvaus pankin taseesta verkon solmuna (mukaillen Haldane & May 2011).

Otetaan selkeyden vuoksi mukaan käytäntö: Suurilla kirjaimilla kuvataan koko pankkijärjestelmää koskevia ominaisuuksia ja pienillä kirjaimilla yksittäistä pankkia koskevia tietoja. Kuvan 2 mukainen pankin tase voidaan jakaa neljään omaisuuskategoriaan. Pankin velat koostuvat sijoittajien talletuksista  $d$  (deposits) ja pankkien välisistä ottolainauksista  $b$  (interbank borrowing), joilla pankki hakee pääomaa systeemin muilta pankeilta. Sisään tulevilla nuolilla kuvataan painotetusti ottolainojen suuruutta. Pankin varat jaetaan niin ikään kahteen luokkaan: kuluttajalainoihin  $e$  (external assets) ja pankkien välisiin lainoihin  $l$  (interbank liabilities). Ulos päin lähtevillä nuolilla kuvataan painotetusti toiselle pankille myönnetyn lainan suuruutta. Lisäksi pankilla on olemassa nettovarallisuutta (net worth)  $\gamma$ , joka toimii pankilla pääomapuskurina. Pankin maksukykyisyys edellyttää, että varat ovat suurempia kuin velat, jolloin pankin  $i$  olemassaololle saadaan ehto

$$\gamma_i \equiv (e_i + l_i) - (d_i + b_i) \geq 0, \quad (1)$$

jossa termit ovat edellä mainittuja omaisuusluokkia. (Nier et al. 2007; Haldane & May 2011) Varojen menetyksen ajatellaan kohdistuvan joko kuluttaja- tai pankkien välisiin lainoihin, ja jos muutoksen johdosta nettovarallisuus ajautuu negatiiviseksi, pankki ajautuu maksukyvyttömäksi (May & Arinaminpathy 2010). Tappioiden syihin palataan tarkemmin luvussa 3.

## 2.3 Pankkien väliset yhteydet verkossa

Verkon luomiseksi tarvitaan vielä tärkeä tieto siitä, mikä on verkon astejakauma eli, miten yhteydet ovat jakautuneet solmujen kesken (Gai & Kapadia 2010). Yhteyksien jakaantumisessa on luontevaa ajatella, että solmun lähtöaste korreloi annettujen lainojen kanssa ja maaliaste korreloi ottolainojen suhteen (Krause & Giansante 2012). Esimerkiksi, mikäli pankilla on suhteessa muihin enemmän velkaa, siihen yhdistyy muita enemmän nuolia. Erdos ja Renyi (1960) ratkaisivat astejakautuman ongelman olettamalla, että satunnaisissa verkoissa jokainen solmu on yhteydessä toiseen solmuun todennäköisyydellä  $p$  ja että yhteydet noudattavat Poisson-jakaumaa. Tämä identtinen todennäköisyys on sittemmin tunnettu Erdos-Renyi-todennäköisyytenä.

Alan tutkimuksissa todennäköisyysjakautuman käyttö vaihtelee. Esimerkiksi Nier et al. (2007) sekä Gai & Kapadia (2010) käyttävät Poisson-jakaumaa, kun Krause & Giansante (2012) sekä Teteryatnikova (2014) hyödyntävät potenssijakaumaa. Tässä tutkielmassa käytetään Erdos-Renyi-todennäköisyyttä sen yksinkertaisuuden vuoksi. Oletetaan siis, että jokaisella pankilla on yhtä suuri todennäköisyys  $p$  olla yhdistynyt toiseen pankkiin ja että asteet ovat Poisson-jakautuneet. Tilastollisiin jakaumiin ei sinällään keskitytä tässä tutkielmassa, koska myöskään edellä viitatuissa tutkimuksissa niihin ei tarkemmin paneuduta. Syynä lienee, että todennäköisyysjakautumalla on merkitystä käytännössä vasta simulaatioissa, kun pankkien välisiä yhteyksiä määritetään.

Olkoon pankkien lukumäärä systeemissä  $N$  ja verkon lähtöaste, siis kaikkien nuolien lukumäärä,  $Z$ . Koska jokaisen nuolen tulee lähteä yhdestä solmusta ja päättyä toiseen, verkon lähtöasteen tulee olla sama kuin verkon maaliaste. Tällöin yksittäisen pankin lähtöaste (pankeille myönnetyt lainat) tai maaliaste (pankeilta saadut ottolainat) on keskimäärin  $z = p(N - 1)$ , jossa  $p$  on Erdos-Renyi-todennäköisyys. (Nier et al. 2007; Haldane & May 2011). Verkossa olevien nuolien määrä korreloi siis positiivisesti Erdos-Renyi-todennäköisyyteen: mitä suurempi  $p$ , sitä todennäköisemmin solmu on yhdistynyt toiseen solmuun. Nuolille tarvitaan kuitenkin vielä painoarvot, jotta verkko voitaisiin rakentaa. Nier et al. (2007) sekä May & Arinaminpathy (2010) käyttävät malleissaan jokaiselle nuolelle samaa painoa  $w = I/Z$ , jossa  $I$  on kaikkien pankkien välisten lainojen määrä.

## 2.4 Satunnaisen verkon luominen

Alaluvussa 2.1 määriteltiin verkon solmukohdat, jotka ovat siis kuvan 2 mukaisia pankkien taserakenteita. Lisäksi alaluvussa 2.2 esiteltiin, miten solmuista lähteviä nuolia voidaan kuvata painotetusti identtisen todennäköisyyden avulla. Määrittely esitettiin yksinkertaistetusti, mutta näiden lähtötietojen avulla verkkoa voidaan mallintaa simulointiohjelmilla (Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010; May & Arinaminpathy 2010). Tutkimuksissa ei oteta tarkemmin kantaa siihen, minkälaisilla ohjelmistoilla simulointi käytännössä toteutetaan, joten keskitytään simuloinnin taustatietoihin. Tutkimuksissa määritellään verkon parametrit eli muuttujat, joiden avulla muut tekijät voidaan johtaa (Krause & Giansante 2012; Teteryatnikova 2014).

Käytetään edelleen Nierin et al. (2007) sekä osittain Gai & Kapadian (2010) mallien oletuksia verkon parametrien johtamisessa. Olkoon koko pankkisysteemin yksityislainojen määrä kiinteä luku  $E$ . Seuraava ennalta määrätty parametri on koko systeemin yksityislainojen suhde kaikkiin verkon varoihin, joka on muotoa  $\beta = E/A$ . Toisaalta systeemin kokonaisvarallisuus voidaan ilmaista muodossa  $A = E + I$ , jonka myös kuva 2 ilmaisee. Näistä havaitaan sijoittamalla, että kaikki pankkien väliset lainat  $I$  voidaan ilmaista muodossa  $I = A(1 - \beta)$ . (Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010) Havaitaan siis, että antamalla tietyt alkuarvot kaikille yksityislainoille  $E$  ja suhteelle  $\beta$ , voidaan ratkaista systeemin pankkien väliset lainat  $I$  ja systeemin kokonaisvarallisuus  $A = E/\beta$ .

Kun systeemin kokonaisvarallisuutta kuvaavat kategoriat on saatu määriteltyä, varat tulee vielä jakaa yksittäisille pankeille. Alaluvun 2.2 lopussa todettiin, että jokaisella verkon nuolella on sama paino  $w = I/Z$ , joka myös on toiselle pankille myönnettävän lainan arvo. Simuloinneissa Erdos-Renyi-todennäköisyys  $p$  määrittää pankin yhteyksien lukumäärän. Tällöin yksittäisen pankin myöntämät lainat  $l$  saadaan simulaatiokohtaisesti sen lähtöasteen perusteella. Annettua lainaa vastaa aina toisen pankin ottolaina  $b$ , joka voidaan täten määrittää yksittäiselle pankille sen maaliasteen avulla. (Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010) Edellä mainittu kuvaus ei ole matemaattisesti formaali, mutta se kuvaa intuitiivisesti verkon yhteyksien suhteen pankkien välisiin lainoihin.

Jaetaan kaikki verkon yksityiset lainat  $E$  tasaisesti pankkien kesken, joita oli  $N$  kappaletta. Tällöin pankin yksityislainat saadaan kaavasta  $e = E/N$ . Hyödyntämällä taseen identiteettiä, pankin kokonaisvarallisuus voidaan laskea kaavasta  $a = l + e$ , jonka myös kuva 2 ilmaisee. Olkoon pankin nettovarallisuus  $\gamma$  tietty osuus sen kokonaisvaroista  $a$ . Hyödyntämällä taseen identiteettiä toistamiseen, voimme laskea pankin talletukset kaavasta  $d = a - \gamma - b$ , jossa  $b$  oli pankin ottolainojen määrä. (Nier et al. 2007; May & Arinaminpathy 2010; Gai & Kapadia 2010)

Näin olemme löytäneet verkon parametrit  $(\gamma, \beta, p, N, E)$ , joiden avulla verkko ja jokainen pankin tase voidaan määritellä (Nier et al. 2007) Kertauksen vuoksi, Erdos-Renyin-todennäköisyys  $p$  ja pankkien lukumäärä  $N$  määrittävät verkon rakenteen: niiden avulla

saadaan selville esimerkiksi yksittäisen nuolen paino ja kuinka paljon yhteyksiä pankeista on toisiin. Lainaussuhteen  $\beta$  ja verkon yksityislainojen määrällä  $E$  oli vaikutus muiden muassa koko verkon varallisuuteen ja pankkien välisiin lainoihin. Nettovarallisuutta  $\gamma$  tarvittiin muiden parametrien ohella yksittäisen pankin omaisuuserien laskemisessa.

## 2.5 Kritiikki satunnaisia verkkoja kohtaan

Verkon luomiseen liittyi monia oletuksia ja yksinkertaistuksia, joiden vuoksi satunnaiset verkot ovat saaneet osakseen paljon kritiikkiä (Haldane & May 2011; Krause & Giansante 2012; Teteryatnikova 2014). Esimerkiksi alaluvun 2.2. viimeisessä kappaleessa oletettiin karkeasti yksinkertaistaen, että kaikki pankkien väliset velat ovat yhtä suuria. Teteryatnikova (2014) toteaa tällaisen oletuksen olevan tyylitelty, mutta myöntää, että se riittää tarunnan leviämisen kuvaukseen. Haldane ja May (2011) niin ikään kritisoivat tällaista oletusta, mutta toteavat sen helpottavan simulointia ja tulosten keräämistä.

Kritiikki vaikuttaa johtuvan siitä, että empiirisissä tutkimuksissa on havaittu monien maiden pankkijärjestelmien olevan rakenteeltaan kerrosmaisia (Krause & Giansante 2012). Tällaisessa verkossa pankit jaetaan karkeasti kahteen eri luokkaan: ensimmäisen kerroksen pankit ovat tyypillisesti suuria ja laajasti kytkeytyneitä, kun toisen kerroksen pankit ovat tyypillisesti pieniä ja kytkeytyneitä lähinnä ensimmäisen kerroksen pankkeihin. (Teteryatnikova 2014) Empiirisen tutkimuksen valossa on siis kyseenalaista käyttää yhtä tiettyä todennäköisyyttä  $p$ , jolla pankit ovat kytkeytyneitä toisiinsa. Nier et al. (2007) kuitenkin mainitsevat, että myös satunnaisilla verkoilla voidaan saavuttaa kerrosmaisia piirteitä. Pankit voidaan jakaa kahteen eri luokkaan, joista toisella on suurempi Erdos-Renyin-todennäköisyys kuin toisella, jolloin saavutetaan kerrosmaisien verkon piirteitä pankkien välisissä yhteyksissä. (Nier et al. 2007) Tutkijat kuitenkin toteavat tämän vaativan lisää tutkimusta tulevaisuudessa.

### 3. SYSTEEMINEN RISKI SATUNNAISISSA VERKOISSA

Edellisessä luvussa tarkasteltiin, miten pankkijärjestelmä voidaan muodostaa satunnaisen verkon ja sen parametrien avulla. Tässä luvussa tutkitaan, mitkä tekijät aiheuttavat järjestelmästä riskiä pankkijärjestelmissä. Tekijöitä on luonnollisesti lukuisia, mutta koska tarkoituksena on kuvata tartunnan leviämistä verkossa, keskitymme yksittäisten pankkien kaatumisesta aiheutuvaan järjestelmisen riskin leviämiseen. Yksittäiseen pankkiin iskeviä shokkeja on helpompi käsitellä ja ne tarjoavat hyvän lähtökohdan pankkien välisten yhteyksien sekä pääoman vaikutuksen tutkimiseen (Nier et al. 2007). Lisäksi, yksittäisen pankin kaatuminen saattaa juurikin johtua koko järjestelmää heikentävästä shokista (Teteryatnikova 2014).

#### 3.1 Järjestelmisen riskin syyt

Pankkijärjestelmän ulkoisilla tapahtumilla, kuten taloussykleillä, suurilla sodilla tai ympäristökatastrofeilla, on selvästi heikentäviä vaikutuksia pankkien varallisuuksien arvoihin, jolloin ulkoinen tapahtuma voi aloittaa kriisin leviämisen. Viimeisin finanssikriisi vaikuttaa kuitenkin olevan suurelta osin pankkijärjestelmän itse aiheuttama. (Haldane & May 2011) Esimerkiksi Caccioli et al. (2009) sekä Brock et al. (2009) ovat havainneet tutkimuksissaan, että johdannaismarkkinoilla voi olla merkittäviä vaikutuksia rahoitusmarkkinoihin. Vaikka pankit olivat näennäisesti suojanneet omia sijoituksiaan johdannaisten avulla, tämä nosti järjestelmästä riskiä (Brock et al. 2009). Järjestelmisen riskin lähteitä on lukuisia (Upper 2011), mutta satunnaisten verkkojen tutkimuksessa keskitytään pääasiassa operationaaliseen- ja likviditeettiriskiin (Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010; May & Arinaminpathy 2010).

##### 3.1.1 Operationaalinen riski

Teteryatnikova (2014) kertoo, että operationaalinen- eli luottoriski liittyy pankin liiketoimintaan ja sitä voidaan tarkastella yksittäisen pankin näkökulmasta. Hän lisäksi mainitsee esimerkkejä, joissa pankin kaatuminen on johtunut liiketoiminnallisista valinnoista. Operationaalinen riski voi aiheuttaa yksittäisestä pankista lähtevän shokin verkossa (idiosyncratic shock), jolloin tartuntaa voidaan tarkastella yhdestä lähtöpisteestä. (Teteryatnikova 2014) Tartunnan leviämisen tutkimuksissa on usein lähtökohtana operationaalisen riskin aiheuttama shokki. (esimerkiksi Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010; May & Arinaminpathy 2010) Tämä antaa oikeutuksen tarkastella yksittäiseen pankkiin kohdistuvaa shokkia myös tässä tutkielmassa.



### 3.1.2 Likviditeettiriski

Pankin ajautuessa maksuvaikeuksiin, se joutuu tavallisesti myymään varallisuuttaan nopeasti (fire-sales). Tällöin tietylle varallisuusluokalle syntyy yltarjontaa markkinoilla, jolloin omaisuuden markkina-arvo putoaa. (Gai & Kapadia 2010) Reaalimaailmassa jonkin pankin kaatumiseen liittyy yleistä epävarmuutta ja muiden pankkien maksuvaikeuksia. Näin ollen varallisuusluokkien arvon aleneminen voimistuu, kun useat pankit pyrkivät myymään varallisuutta alennettuun hintaan. Edellä mainittuun prosessiin liittyvää riskiä kutsutaan likviditeettiriskiksi (Haldane & May 2011) Likviditeettiriskin huomioon ottaminen voikin olla hyvin relevanttia tartunnan leviämisen kuvauksessa. Luvun 2 pankkijärjestelmän mallia käytetään kuitenkin ensisijaisesti yksittäisestä pankista lähtevän shokin kuvaamiseen, ja tutkimuksissa sitä pyritään jatkamaan likviditeettiriskin käsittelyyn (Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010). Esimerkiksi Krause & Giansante (2012) sekä Roukny et al. (2016) eivät kuitenkaan käytä luvun 2 mukaista mallia likviditeettiriskin kuvaamisessa.

### 3.1.3 Muita riskityyppejä

Reaalimaailmassa tartunta voi tapahtua monia eri kanavia pitkin. Tutkimuksissa joudutaankin usein valitsemaan, tutkitaanko yksittäisten lähteiden vaikutusta vai monien lähteiden yhteistä vaikutusta. (Upper 2011) Tuoreemmissa tutkimuksissa tarkastellaan monien riskityyppien yhteisvaikutusta. Esimerkiksi Roukny et al. (2016) tarkastelee verkon rakenteen, velan vipuvaikutuksen ja volatiliteetin yhteisvaikutuksia. Battiston et al. (2016) sen sijaan painottaa informaation asymmetrian vaikutusta: pankeilla ei ole tietoa toistensa varallisuuksista, mikä aiheuttaa epävarmuutta markkinoilla. Upper (2011) on kerännyt tutkimuksessaan erilaisia systeemisen riskin lähteitä, joita ovat esimerkiksi pankkien laumautuminen, valuuttakurssien vaihtelu ja johdannaisriskit. Kenties tärkeintä on huomata, että vaikka tutkimuksissa tarkasteltaisiin vain yksittäisiä systeemisen riskin syitä, sille on olemassa lukuisia eri lähteitä.

## 3.2 Tartunnan leviäminen

Tutkitaan yksittäiseen pankkiin kohdistuvaa shokkia, joka poistaa prosenttiosuuden sen kuluttajalainoista  $e$ . Olkoon shokin valuuttamääräinen koko  $s$ , jonka pankki aluksi kattaa nettovarallisuudellaan  $\gamma$ . Mikäli nettovarallisuus ei riitä shokin absorboimiseen, pankki kaatuu. Tällöin jäännöstappio  $(s - \gamma)$  siirtyy pankeille, jotka olivat antaneet luottoja maksukyvyttömälle pankille. Mikäli jäännöstappio on suurempi kuin kaatuneen pankin otollainat, kaikkea tappiota ei voida kattaa luotonantajien tappioiden avulla. Tässä tapauksessa yksityiset tallettajat kärsivät tappion, joka on suuruudeltaan  $(s - \gamma - b)$ . (Nier et al. 2007) Taulukkoon 1 on koottu edellä mainitut tilanteet ehtoineen, jossa muuttujat ovat siis rahamääräisiä arvoja. Asiaa havainnollistaa myös kuvan 2 taserakenne.

**Taulukko 1.** Tappion jakautuminen eri luokille shokin suuruuden mukaan.

Pankki	Luotonantajat	Tallettajat	Ehto
$s$	-	-	$s \leq \gamma$
$s$	$(s - \gamma)$	-	$\gamma \leq s \leq (\gamma + b)$
$s$	$(s - \gamma)$	$(s - \gamma - b)$	$(\gamma + b) \leq s$

Numeerisissa simulaatioissa shokki aiheutetaan tyypillisesti yhdelle pankille kerrallaan. Pankki valitaan satunnaisesti ja toistokoetta jatketaan, kunnes tarvittava määrä tuloksia on saatu talteen (Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010; May & Arinaminpathy 2010). Shokin luonne vaihtelee eri tutkimuksissa. Esimerkiksi Nier et al. (2007) poistavat tietyn prosenttiosuuden pankin kuluttajalainoista, kun Gai & Kapadia (2010) määrittävät shokin suuruudeksi pankin kuluttajalainojen määrän. Yksittäinen koe jatkuu niin kauan, kunnes shokki on absorboitunut systeemiin eli pankit eivät enää ajaudu maksukyvyttömäksi (Krause & Giansante 2012).

Tartuntamekanismi toimii siten, että kun yksi pankki ajautuu maksukyvyttömäksi, sille lainoja antaneet pankit kärsivät luottotappion, joka määräytyy taulukon 1 tilanteen mukaan. Luvussa 2 esitetyssä mallissa kaikki lainat olivat yhtä suuria, joten Nier et al. (2007) toteavat, että pankille  $i$  lainanneiden pankkien jäännöstappio on

$$\frac{(s-\gamma)}{z_i}, \quad (2)$$

jossa  $z_i$  on pankista  $i$  lähtevien nuolten lukumäärä. Mikäli tämä luottotappio ylittää lainanneen pankin nettovarallisuuden, se kaatuu ja välittää tartuntaa eteenpäin. (Nier et al. 2007) Kaavasta 2 huomataan, että shokki vaimenee sen edetessä, koska  $z_i$  on positiivinen luku. Näin tartunta pysähtyy tietyssä vaiheessa, ja tulokset voidaan kerätä talteen. Tässä alaluvussa kuvailtu tartuntamekanismi jättää vielä kysymyksiä, kuinka tartunta käytännössä toimii simulaatioissa, mutta tutkijat eivät käsittele tätä kovinkaan tarkasti artikkeleissaan (esimerkiksi Nier et al. 2007; Gai & Kapadia 2010; May & Arinaminpathy 2010).

## 4. EMPIIRISET TULOKSET PANKKISYSTEEMEISTÄ

Edellisissä luvuissa on esitelty, miten pankkisysteemin malli voidaan rakentaa ja kuinka verkon rakennetta voidaan testata aiheuttamalla siihen shokki. Tässä viitekehyksessä onkin luontevaa tarkastella nyt empiirisiä tuloksia pankkisysteemeistä. Ensiksi, alaluvussa 4.1 tarkastellaan tutkimuksiin liittyvää metodologiaa, jonka jälkeen tarkastellaan tulosaimeistoa, joka on jaettu kahteen osaan. Alaluvussa 4.2 esitellään niiden tutkimusten tulokset, jotka tarkastelevat pankkisysteemejä teoreettisten mallien simulaatioilla. Samalla esitään tuloksia, jotka kuvaavat systeemistä riskiä ja antavat makrotaloutta vakaannuttavia keinoja. Alaluvussa 4.3 esitellään tutkimuksia, jotka tarkastelevat eri maista ja alueista kerättyä dataa pankkisysteemeistä. Tavoitteena on kerätä tuloksia, jotka kertovat kyseisen alueen pankkisysteemin rakenteesta ja ominaisuuksista.

Työn päätavoitteena oli selvittää, mitä makrotaloutta vakaannuttavia keinoja tutkimukset ehdottavat, ja minkälaisia malleja eri maiden pankkisysteemit noudattavat. Ensimmäiseen kysymykseen vastataan alaluvuissa 4.2 ja 4.3, mutta toiseen kysymykseen maiden pankkisysteemeistä vain alaluvussa 4.3. Siksi on järkevää tehdä synteesi tuloksista omassa alaluvussaan 4.4.

### 4.1 Tutkimusten metodologia

Teoreettisissa mallinuksissa metodologia on likimain lukujen 2 ja 3 mukainen. Teoreettisissa tutkimuksissa luodaan malli pankkisysteemistä, jota simuloidaan toistokokeilla aiheuttamalla siihen shokkeja. Kun toistokokeita on suoritettu tarvittava määrä, tulokset kerätään talteen ja niitä analysoidaan. Usein tarkoituksena on tutkia, miten tietyn parametrin muuttaminen vaikuttaa systeemiseen riskiin. Esimerkiksi Nier et al. (2007) tarkastelevat luvussa 2 esitettyjen verkon parametrien vaikutuksia systeemiseen riskiin muuttamalla niitä yksi kerrallaan. Glasserman & Young (2014) sen sijaan tutkivat konkurssikustannusten ja omaisuuksien arvonalenemisien vaikutuksia muuttamalla yksittäisiä muuttujia kerrallaan.

Tutkimusmetodologia on melko samanlainen niiden tutkimusten välillä, jotka hyödyntävät reaali maailman dataa. Tyypillisesti tutkimuksissa kerätään keskuspankeilta usean vuoden ajanjaksolta tietoa esimerkiksi pankkienvälisistä lainoista ja taseista (Mistrulli 2011). Eräät datalähteet ilmaisevat pankkien tasetiedot päivän päätteeksi (Bech & Atalay 2010), kun toiset esimerkiksi kvartaaleittain (Boss et al 2004; Minoiu & Reyes 2013). Nämä tiedot ilmaisevat pankkien kyseisen hetken varallisuuden ja sitoumukset muille pankeille ja niitä voidaan näin käyttää apuna mallinnettaessa kyseistä pankkisysteemiä.

Pankkijärjestelmä muodostuu likimain samoin kuin luvussa 2 on esitetty: tasetiedoista voidaan rakentaa verkon solmukohdat ja nuolina toimii pankkien väliset lainat. Bech & Atalay (2010) ja Paltalidis et al. (2015) puhdistavat datan algoritmeilla, muuntavat datan matemaattiseen muotoon matriisilaskennan menetelmillä ja luovat verkon simulaatiokoneella. Kun järjestelmä on saatu kuvattua, siihen voidaan aiheuttaa shokkeja, ja kerätä toistokokeiden avulla tuloksia. (Bech & Atalay 2010; Paltalidis et al. 2015). Tarkempi metodologia ei ole tämän tutkielman keskiössä, mutta siihen voi perehtyä edellä viitatuissa artikkeleissa. Lisäksi Upper (2011) käsittelee kirjallisuuskatsauksessaan kattavasti tutkimusmetodologiaa.

## 4.2 Teoreettisten mallinnusten tulokset

Taulukkoon 2 on koottu tulosaineisto teoreettisiin malleihin keskittyneistä tutkimuksista, jotka ovat järjestetty kronologisesti vanhimmasta uusimpaan. Jokaisessa artikkelissa esitellään jokin mallinnus verkosta, jota on simuloitu. Verkon rakenne on ilmaistu taulukon toisen sarakkeen avulla. Kolmannessa sarakkeessa on ilmaistu havaintoja systeemiseen riskiin vaikuttavista tekijöistä. Tämä ei varsinaisesti liity tutkimuskysymyksiin, mutta soluissa ilmaistut tekijät auttavat ymmärtämään, miksi tiettyjä makrotaloutta vakaannuttavia keinoja ehdotetaan. Nämä keinot ovat ilmaistu neljännessä sarakkeessa.

Suurin osa tulosaineistosta tarkastelee joko satunnaista- tai ei-satunnaista verkkoa, mutta jaottelu ei käytännössä ole näin yksiselitteinen. Esimerkiksi, vaikka Glasserman & Young (2014) ja Roukny et al. (2016) tutkivat taulukon 1 mukaan ei-satunnaista verkkoa, käytetyissä malleissa on eroja. Tämä johtuu tässä tutkielmassa käytettävästä määritelmästä, joka esiteltiin luvun 2 alussa. Toisaalta rakenteiden karkea jaottelu antaa myös mielenkiintoisia tuloksia satunnaisten- ja edistyneempien verkkojen eroista, kuten seuraavissa kappaleissa todetaan.

**Taulukko 2.** *Tulosaineisto teoreettisten mallien simulaatioista.*

Tutkimus	Verkon rakenne	Havainnot systeemisestä riskistä	Makrotaloutta vakaannuttavat keinot
Allen & Gale (2000)	Neljän pankin muodostama verkko	Täydellinen verkon rakenne on kestävämpi kuin epätäydellinen	Ei ota kantaa.
Nier et al. (2007)	Satunnainen verkko	Verkko voidaan rakentaa viiden parametrin avulla. Tartunnan eteneminen heikkenee merkittävästi tietyn pääomatazon jälkeen.	Pääomavaatimusten tulisi korreloida annettujen lainojen kanssa.

<b>Tutkimus</b>	<b>Verkon rakenne</b>	<b>Havainnot systeemisestä riskistä</b>	<b>Makrotaloutta vakaannuttavat keinot</b>
May & Arinaminpathy (2010)	Satunnainen verkko	Tartunnan leviämisen vaimentuminen matemaattisesti. Likviditeetin heikkeneminen voimistaa leviämistä.	Omaisuuksia tulisi arvottaa tarkemmin ja omaisuuden tulisi olla erilaista systeemisen riskin pienentämiseksi.
Gai & Kapadia (2010)	Satunnainen verkko	Pankkisysteemien rakenne on vankka mutta herkkä: vaikka tartunnan todennäköisyys on pieni, seuraukset voivat olla mittavia	Koska suurempi kytkeytyneisyys kasvattaa tartunnan todennäköisyyttä, sääntelyn tulisi keskittyä siihen.
Haldane & May (2011)	Satunnainen- ja ei-satunnainen verkko	Systeeminen riski kasvaa, kun pankit ovat homogeenisia.	Suuremmilla ja kytkeytyneemmällä pankeilla tulisi olla korkeammat pääomavaatimukset. Vaatimuksien tulisi muuttua taloussykeissä.
Krause & Giansante (2012)	Ei-satunnainen verkko	Kerrosmainen pankkisysteemi on vähemmän altis tartunnan leviämiselle. Lisäksi pankin koko ei ole niin tärkeä tekijä systeemisen riskin kannalta, vaan kytkeytyneisyys.	Ensimmäisen kerroksen kytkeytyneemmällä pankeilla tulisi olla tiukempi sääntely kuin toisen kerroksen pienemmällä pankeilla.
Teteryatnikova (2014)	Ei-satunnainen verkko	Kerrosmainen rakenne parantaa systeemin kestävyyttä, kunhan kytkeytyneimmät pankit ovat hyvin pääomitettuja	Ensimmäisen kerroksen pankeilla tulisi olla suuremmat pääomavaatimukset kuin toisen kerroksen pankeilla.
Glasserman & Young (2014)	Ei-satunnainen verkko	Tartunta leviää heikosti pelkästään luottotappioiden kautta. Leviämistä voimistavat konkurssikustannukset ja omaisuuden arvon aleneminen.	Ei ota kantaa.

<b>Tutkimus</b>	<b>Verkon rakenne</b>	<b>Havainnot systeemisestä riskistä</b>	<b>Makrotaloutta vakaannuttavat keinot</b>
Roukny et al. (2016)	Ei-satunnainen verkko	Sulkeutuneet ketjurakenteet ovat kestävämpiä kuin täydelliset rakenteet kerrosmaisissa verkoissa.	Tutkimus tarjoaa säätelijöille tavan mitata pankkien vaikutusta systeemiin.
Battiston et al. (2016)	Tutkielma	Informaation asymmetria nostaa systeemisestä riskiä: pankit eivät tiedä toistensa riskillisyyksistä ja varojen arvoista.	Tieteenharjoittajien tulisi muodostaa kansainvälinen ryhmä, joka saisi hyödyntää dataa vapaasti ja antaa ehdotuksia sääntelijöille.
Aldasoro et al. (2017)	Ei-satunnainen verkko	Optimaalinen arvo pääomasuhteelle $\gamma$ on 10-13%, jonka jälkeen systeeminen riski ei merkittävästi pienene.	Basel III säännöstö tarjoaa hyvän lähtökohdan vakaudelle tutkimuksen mukaan.

Vaikka tulosaineiston koko on pieni, siitä voidaan havaita, miten fokus mallintamisesta on siirtynyt satunnaisista verkoista ei-satunnaisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mallit pyrkivät imitoimaan reaali maailman kerrosmaista rakennetta. Lisäksi uudemmissa tutkimuksissa pyritään ottamaan enemmän systeemiseen riskiin vaikuttavia tekijöitä huomioon. Siinä missä esimerkiksi Krause & Giansante (2012) ja Teteryatnikova (2014) pyrkivät lähinnä kerroksellisuuden kuvaamiseen, Glasserman & Young (2014) sekä Roukny et al. (2016) laajentavat kerroksellisuutta koskemaan esimerkiksi konkurssikustannuksia ja likviditeetin heikkenemistä.

Tulosaineistosta selviää myös, minkälaisiin tekijöihin verkon rakenteessa on kiinnitetty huomiota systeemisen riskin pienentämisessä. Kenties merkittävin ero liittyy kytkeytyneisyyden vaikutukseen tartunnan leviämisessä. Allen & Gale (2000) väittävät tutkimuksessaan, että täydellinen verkko kestää paremmin shokkeja kuin epätäydellinen. Roukny et al. (2016) väittävät juuri päinvastoin, mutta heillä on tarkastelukohteena kerrosmaiset verkot.

Samanlaista vastakkainasettelua on havaittavissa myös Gai & Kapadian (2010) ja Teteryatnikovan (2014) välillä. Gai & Kapadia (2010) väittävät suuremman kytkeytyneisyyden lisäävän tartunnan riskiä, mutta Teteryatnikova (2014) väittää asian olevan juuri päinvastainen kerrosmaisissa verkoissa, kunhan ensimmäisen tason pankeilla on riittävästi pääomaa. Kuten on aiemmin todettu, reaali maailman pankkisysteemit ovat kerrosmaisista, joten Teteryatnikova (2014) ja Roukny et al. (2016) lienevät oikeassa.

Tulosaineiston välillä ei ole merkittäviä ristiriitoja ajallisesti, kun tarkastellaan makrotaloutta vakaannuttavia keinoja. Kaikki tutkimukset, jotka ottavat asiaan kantaa, käsittelevät suurilta osin pääomavaatimuksia pankeille. Tämä saattaa johtua siitä, että se on helppoin keino säätelijälle vaikuttaa systeemiseen riskiin. Merkittävimmät erot liittyvät verkkorakenteen valintaan.

Nier et al. (2007) sekä Gai & Kapadia (2010) tutkivat satunnaisia verkkoja ja toteavat, että sääntelyn tulisi olla tiukempaa niille pankeille, jotka myöntävät suurempia lainoja. Krause & Giansante (2012) ja Teteryatnikova (2014) sen sijaan tutkivat ei-satunnaisia verkkoja ja kertovat, että sääntelyn tulisi olla voimakkaampaa ensimmäisen kerroksen suuremmille pankeille. Toisaalta juuri suurimmat pankit myöntävät keskimäärin suurimpia lainoja, joten taustalla voi olla samankaltaisia ajatuksia.

### 4.3 Reaalimaailmasta saadut tulokset

Taulukossa 3 on kuvattuna tulosaineisto niistä artikkeleista, jotka käyttävät reaalimaailman dataa tutkimuksissaan. Mikäli kyseessä on paperitutkielma, se on merkitty erikseen. Artikkelit ovat niin ikään järjestetty kronologiseen järjestykseen vanhimmasta uusimpaan. Toisessa sarakkeessa kerrotaan datalähde ja miltä ajanjaksolta se on kerätty. Kolmannessa sarakkeessa kuvataan adjektiivein, millaiseksi tarkasteltava alue on havaittu. Viimeisessä sarakkeessa ilmaistaan, millaisia makrotaloutta vakaannuttavia keinoja tutkimuksessa ehdotetaan.

**Taulukko 3.** *Tulosaineisto reaalimaailman dataa hyödyntävistä artikkeleista.*

Tutkimus	Datalähde	Tarkasteltava alue ja sen rakenne	Makrotaloutta vakaannuttavat keinot
Boss et al. (2004)	Itävallan keskuspankki: 2000-2003 pankkien tasetiedot kvartaaleittain	Itävalta: kerrosmainen	Huomiota tulisi kiinnittää etenkin systeemisesti tärkeisiin suuriin pankkeihin.
Mistrulli (2007)	Italian keskuspankki: vuodesta 1989 eteenpäin pankkien kuukauden lopussa ilmoitetut tasetiedot	Italia: kerrosmainen ja epätäydellinen	Pankkiyhtymille helpompia keinoja kerätä pääomaa shokin iskiessä.

<b>Tutkimus</b>	<b>Datalähde</b>	<b>Tarkasteltava alue ja sen rakenne</b>	<b>Makrotaloutta vakaannuttavat keinot</b>
Bech & Atalay (2010)	Yhdysvaltain keskuspankki: ajalta 1.4.1997-29.12.2006 pankkien tasetiedot päivän päätteeksi	Yhdysvallat: kerrosmainen	Ei ota kantaa.
Cont et al. (2010)	Brasilian keskuspankki: kuusi hetkeä väliltä 2007-2008	Brasilia: kerrosmainen ja heterogeeninen	Tiukempia pääomavaatimuksia kytkeytyneimmille pankeille.
Minoiu & Reyes (2013)	Kansainvälinen järjestelypankki: kvartaalitiedot maittain väliltä 1978-2010	184 maata globaalisti: kerrosmainen	Tulisi varoa sellaisia verkkoja, joissa pankit ovat alhaisesti kytkeytyneet toisiinsa ja lainojen suuruuksissa on suurta hajontaa.
Martinez-Jaramillo et al. (2014)	Meksikon keskuspankki: päivittäiset tasetiedot väliltä 03.01.2005-31.12.2010	Meksiko: kerrosmainen ja epätäydellinen, muutoksia rakenteessa finanssikriisin jälkeen	Mittaustapojen yhdistäminen antaa parempia tuloksia systeemisestä riskistä.
Kanno (2015)	Japanese Bankers Association: tasetiedot vuosien 2009-2013 lopussa	Japani: kerrosmainen	Sääntelijöiden tulisi ottaa käyttöön tutkimuksissa hyväksi todetut mittaustavat.
Paltalidis et al. (2015)	Kansainvälinen järjestelypankki ja euromaiden keskuspankit: tasetiedot kvartaaleittain väliltä Q1/2005-Q4/2013	EU:n 16 jäsenmaata: heterogeeninen	Basel III sääntely ei toiminnut merkittävästi. Etenkin Etelä-Euroopassa suuri tartunnan riski.



<b>Tutkimus</b>	<b>Datalähde</b>	<b>Tarkasteltava alue ja sen rakenne</b>	<b>Makrotaloutta vakaannuttavat keinot</b>
Li & Dong (2016)	Englannin keskuspankki ja pankkien tilinpäätökset: tasetiedot vuoden lopussa väliltä 2002-2005	Yhdistynyt kuningaskunta: kerrosmainen	Tiukempia pääomavaatimuksia systemaattisesti tärkeimmille pankeille.
Hassan & Aliyu (2017)	Tutkielma	Islamilainen pankkijärjestelmä: homogeeninen, mutta hyvin erilainen tavanomaiseen pankkijärjestelmään nähden. Esimerkiksi korkoa ei peritä	Islamilainen pankkijärjestelmä selvisi huomattavasti paremmin edellisestä finanssikriisistä kuin tavanomaiset. Voi olla mielenkiintoinen tutkimuskohde länsimaiselle pankkijärjestelmälle.

Vaikka toinen osa tulosaineistosta on niin ikään pieni, voidaan todeta, että maailman pankkijärjestelmät ovat pääasiassa kerrosmaisia. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että pankkijärjestelmät olisivat eri maissa samankaltaisia. Lienee selvää, että vaikka Italian ja USA:n pankkijärjestelmät ovat kerrosmaisia, niiden välillä on eroja esimerkiksi solmujen ja nuolien koossa ja määrässä (Mistrulli 2011). Perustopologialtaan kerrosmaiset pankkijärjestelmät ovat kuitenkin samanlaisia. Kerrosmaisuuksien ominaisuuksiin, kuten astejakautumisiin voi perehtyä tarkemmin tulosaineistosta, joten maiden topologiset erot sivuutetaan tässä tutkielmassa.

Taulukon 3 aineistossa ei ole ristiriitaisuuksia koskien makrotaloutta vakaannuttavia keinoja. Boss et al. (2004), Cont et al. (2010) sekä Li & Dong (2016) ilmaisevat selkeästi, että ensimmäisen kerroksen systemaattisesti tärkeille pankeille tulisi asettaa tiukempia pääomavaatimuksia. Myös muut tutkimukset nojaavat samaan suuntaan. Mielenkiintoinen ristiriita ilmenee Paltalidis et al. (2015) ja taulukon 2 Aldasoro et al. (2017) välillä Basel III sääntelystä, jotka ovat eri mieltä sen toimivuudesta. Basel III säännöstö on Kansainvälisen järjestelypankin laatima kokoelma toimia, joiden tarkoitus on parantaa pankkien valvontaa ja riskienhallintaa. Kansainvälisen järjestelypankin jäsenenä on 60 eri maiden keskuspankkia. (BIS 2017)

Tulosaineistosta on havaittavissa neljä erilaista datatyyppiä: tasetiedot ovat selvillä päivän-, kvartaalin-, tai vuoden lopussa. Neljännessä tyypissä tasetiedot ovat selvillä mielivaltaisena ajanhetkenä. Vaikka datalähteitä käytetään eri tavalla, siitä ei ole havaittavaa eroa tutkimusten välillä: eri alueet ovat pääasiassa kerrosmaisista ja makrotaloutta vakaannuttavat keinot melko hajanaisia. Näin ollen mitään säännönmukaisuutta eri metodologioiden väliltä ei kyseisellä otannalla löydy.

Tutkimusdatan ajanjaksojen voidaan havaita olevan selvästi vanhempia kuin tutkimuksen julkaisuajankohdan. Taulukon 3 datalähteistä ja julkaisuajankodista voidaan havaita, että useimmiten data kaksi tai kolme vuotta vanhaa julkaisuajankaan nähden (esimerkiksi Cont et al. 2010; Kanno 2015; Paltalidis et al. 2015). Tämä johtuu todennäköisesti tieteellisen julkaisun prosessista, sillä tutkimukset ovat julkaistu vertaisarvioituissa julkaisuissa. Kattavimman datakokoelman esittävät Minoiu & Reyes (2013), jossa he tutkivat globaalisti eri maiden pankkisysteemejä. Vanhinta dataa suhteessa julkaisuajankohtaan käyttävät Li & Dong (2016), jossa data on yli 10 vuotta vanhaa. Kyseisen tutkimuksen löydöksiä voikin kritisoida, sillä pankkisysteemi voi muuttua, kuten Martinez-Jaramillo et al. (2014) toteavat Meksikon pankkisysteemin tapauksessa.

#### 4.4 Tulosaineiston yhteenveto

Tutkimusten perusteella on siis todettu pankkisysteemien topologian eli rakenteen kerroksellisuus, mistä voidaan päätellä seuraavaa: teoreettisten mallien fokus satunnaisista verkoista on oikeutetusti siirtynyt ei-satunnaisiin verkkoihin. Tiedon kumuloituessa myös mallit ja metodologia on kehittynyt suuresti. Esimerkiksi Nier et al. (2007) sekä Gai & Kapadia (2010) käsittelevät pääasiassa verkon topologian ja erityisesti luvussa 2 esitettyjen verkon parametrien vaikutusta systeemiseen riskiin. Näissä satunnaisiin verkkoihin liittyvissä tutkimuksissa tarkastellaan staattisia systeemejä ja lyhyesti muita vaikuttavia tekijöitä, kuten likviditeetin heikkenemistä ja omaisuuksien arvon laskemista. (Nier et al 2007; Gai & Kapadia 2010)

Roukny et al. (2016) sekä Aldasoro et al. (2017) sen sijaan ottavat huomioon verkon dynaamisuuden: pankit muuttavat käyttäytymistään epävarmuudessa ja tartunnan levitessä. Uudemmat mallit ovat huomattavasti matemaattisempia ja käytännöllisempiä: esimerkiksi Aldasoro et al. (2017) esittää optimaalisia pääomavaatimuksia pankeille, mihin tulosaineiston aiemmat tutkimukset eivät ota kantaa. Kompleksisuudelle onkin tarvetta, sillä Glasserman & Young (2014) toteavat, tartunta leviää heikosti pelkästään maksusitoumusten avulla.

Kun pohditaan makrotaloutta vakaannuttavia keinoja, lienee turvallisinta katsoa taulukon 2 aineistosta ei-satunnaisiin verkkoihin liittyviä tutkimuksia ja taulukon 3 aineiston mainituimpia keinoja. Näin siksi, että taulukon 2 aineiston ei-satunnaisiin verkkoihin liittyvä tutkimus vastaa parhaiten reaali maailmaa ja ne ovat tuoreimpia, joten niistä voidaan saada

luotettavampia toimia. Toiseksi, taulukon 3 tutkimukset ovat valittu edustamaan mahdollisimman hyvin koko maailmaa. Tutkimuksissa esitetyt toimet liittyvät juuri kyseisen pankkijärjestelmän parantamiseen, joten luotettavimmat toimet saadaan ottamalla mainituimmat keinot.

Taulukon 2 aineistosta kuusi tutkimusta käsittelee ei-satunnaisia verkkoja ja niistä kolme ehdottaa täsmällisesti tiukempia pääomavaatimuksia ensimmäisen kerroksen pankeille. Lisäksi muut kolme ovat samoilla linjoilla mutta ehdottavat myös muita toimia. Taulukon 3 aineiston ehdotetut toimet ovat hieman hajanaisempia, mutta myös niistä kolme ehdottaa systemaattisesti tärkeille pankeille tiukempia vaatimuksia. Lisäksi, koko aineistosta kolme tutkimusta ehdottaa, että sääntelijöiden tulisi mitata järjestelmästä riskiä tutkimuksissa hyviksi todetuilla tavoilla. Muuten ehdotetut keinoista ei ole havaittavissa suuria samankaltaisuuksia.

## 5. PÄÄTELMÄT

Yhtenä tutkimuskysymyksenä oli selvittää, minkälaisia malleja reaali maailman pankki-systeemit noudattavat. Kerroksellisuutta havaitaan lähes kaikista maailman pankkisysteemeissä, kuten taulukosta 2 nähdään. Tulosaineiston perusteella tämä havainto on hyvin selkeä ainakin Länsimaiden pankkisysteemeistä. Ainoa poikkeus havaitaan islamilaisissa maissa, jotka tosin eroavat perinteisistä pankeista merkittävästi.

Toisena tutkimuskysymyksenä oli selvittää, millä makrotaloutta vakaannuttavilla keinoilla systeemistä riskiä voidaan pienentää. Tämän suhteen tulosaineistossa oli melko paljon hajontaa. Aineistosta voidaan kuitenkin päätellä, että ensimmäisen kerroksen pankeille tulisi asettaa tiukempia vaatimuksia pääoman ja likvidien varojen suhteen. Lisäksi sääntelijöiden tulisi ottaa käyttöön tutkimuksissa hyviksi havaitut tavat systeemisen riskin mittaamisessa. Ehdotuksien hajanaisuudesta johtuen tulisi muodostaa enemmän synteesejä ja yhteisiä päätöksiä pankkien vaatimuksille. Kuten Battiston et al. (2016) toteaa, monitieteellinen organisaatio, joka saisi helposti dataa eri maiden keskuspankeilta, voisi kehittää parempia toimia.

Sääntelijöille tulisi myös tuoda ilmi nopeammin ehdotuksia kuin tieteellisen prosessin kautta. Alaluvun 4.3 viimeisessä kappaleessa havaittiin, että tutkimusdatan ja julkaisujankohdalla on viive. Jos sääntelyä toteutetaan siis tieteellisten julkaisujen avulla, data voi olla jo vanhentunutta. Tämä havainto tukee Battiston et al. (2016) ehdotusta datan saatavuuden helpottamisesta ja tieteellisen yhteisön tuomisesta lähemmäksi sääntelijöitä. Koska tieteellisen julkaisun prosessia on vaikea nopeuttaa, sääntelijöiden tulisi tuoda tieteellistä yhteisöä lähemmäksi. Tämä hyödyttäisi makrotalouden vakautta, sillä tieteellisesti hyviksi havaittuja toimia voitaisiin löytää nopeammin.

Tulosaineistosta voidaan lisäksi tehdä päätelmiä tutkimusmetodologian kehityksestä. Taulukon 2 aineiston perusteella voidaan todeta, että tutkimusten fokus on siirtynyt satunnaisista verkoista ei-satunnaisiin. Aina 2010-luvun alkuun saakka mallien verkot olivat satunnaisia ja staattisia. Tartunnan aiheuttaja toimi yksittäiseen pankkiin iskevät shockit, eikä muita systeemisin riskin aiheuttajia juuri käsitelty. Tällaisia tutkimuksia ovat esimerkiksi Nier et al (2007), May & Arinaminpathy (2009) sekä Gai & Kapadia (2010). 2010-luvun alussa heräsi kuitenkin kritiikkiä satunnaisia verkkoja ja niiden yksinkertaisuutta kohtaan. Tutkijat, kuten Krause & Giansante (2012) ja Teteryatnikova (2014), kehittivät malleja perustuen verkon kerroksellisuuteen sekä ottivat mukaan likviditeettiriskin tartunnan leviämisessä. Viime vuosina mallit ovat kehittyneet yhä kompleksisimmiksi ottaen huomioon lukuisia tekijöitä verkon rakenteessa ja tartunnan leviämisessä. Näistä esimerkkeinä toimivat Roukny et al. (2016) sekä Aldasoro et al. (2017).

Vaikka tutkielmassa on käsitelty teoriaosuudessa satunnaisia verkkoja ja havaittu niiden soveltaminen arveluttavaksi, on niiden käyttö ollut rajauksessa pätevää. Satunnaiset verkot ovat luoneet pohjan monimutkaisemmalle tutkimukselle ja ovat pääpiirteiltään samanlaisia kuin kompleksiset verkot. Lisäksi, kuten alaluvussa 2.4 todettiin, niillä voidaan jäljitellä kerrosmaisten verkkojen ominaisuuksia. Verkon mallintaminen on edellytys systeemisen riskin tutkimukselle ja satunnaisilla verkoilla voidaan systeemiä mallintaa melko intuitiivisesti. Etenkin kandidaatintutkielmassa satunnaisten verkkojen käsitteleminen on järkevämpää kuin kompleksisten verkkojen.

Tässä tutkielmassa ei ole käsitelty systeemisen riskin mittaamista, mutta tulosaineiston perusteella mittaaminen on tärkeää makrotalouden vakaudelle ja siis tärkeä jatkotutkimuskohde. Kuten verkkomallinnuksien tapauksessa on olemassa lukuisia eri malleja, myös mittaustavoille löytyy lukuisia eri menetelmiä (Upper 2011). Makrotalouden vakauden kannalta on tärkeää, että säätelijä pystyy mittaamaan systeemistä riskiä (Acharya et al. 2017). Sääntelyyn liittyy siis kaksi tärkeää komponenttia: asetettavat vaatimukset ja mittaustavat, joiden tulisi tukea toisiaan. Mittareiden tulisi mitata pankkien osallisuutta systeemiseen riskiin (Acharya et al. 2017) ja kenties myös vaatimusten tehokkuutta. Systeemisen riskin mittaamiseen voi tutustua esimerkiksi tutkijoiden Upper (2011), Silva (2017) ja Acharya et al. (2017) katsauksissa.

Alaluvun 4.2 viimeisessä kappaleessa ilmaistiin ristiriita Basel III sääntelyn toimivuudesta pankkisysteemeissä. Lisäksi Battiston et al. (2016) ilmaisee tarpeen parempien mallinnusten ja mittaustapojen kehittämisestä säateleville elimille. Jatkotutkimusten kannalta olisi tärkeää löytää malleja, jotka ottaisivat paremmin huomioon pankkisysteemiin liittyvän kompleksisuuden. Myös asetettujen toimien tehokkuudesta saataisiin arvokasta tietoa tulevaisuuden säätelyä varten. Tutkimustulokset lienevät tulleen osaksi uusinta Basel III reformia: Kansainvälinen järjestelypankki (2017) julkaisi vuoden 2017 joulukuussa uusia toimia, joissa otetaan erikseen huomioon globaalisti ja systeemisesti tärkeät pankit, ja asetetaan niille tiukempia vaatimuksia velan vipuvaikutuksen hyödyntämiselle.

Vaikka tutkimuskysymykseen makrotaloutta vakaannuttavista keinoista saatiin laadullisia vastauksia, tarvitaan vielä kvantitatiivisia jatkotutkimuksia. Esimerkiksi ehdotus ”ensimmäisen kerroksen pankeilla tulee olla tiukemmat pääomavaatimukset” ei sinällään ole vielä hyödyllinen. Tarvittaisiin tietoa, kuinka tiukat niiden käytännössä tulisi olla. Kenties tutkimuksissa ollaan jo pääsemässä käytännöllisempiin tuloksiin, kuten Aldasoro et al. (2017) toteavat 10-13 %:n optimaalisesti pääomasuhteesta. Sama pätee myös systeemisen riskin mittaukseen: mitkä mittarit tulisi ottaa käyttöön, missä pankkisysteemeissä, mille pankeille ja niin edelleen.

Alan kirjallisuuskatsauksissa keskitytään tyypillisesti systeemisen riskin tutkimuksen metodologian kuvaamiseen, eikä esimerkiksi makrotaloutta vakaannuttavien keinojen etsimiseen. Kerroksellisuutta on kerätty eräissä tutkimuksissa, joista kenties tunnetuin on

Teteryatnikovan (2014) artikkeli. Koska kerroksellisuus on havaittu niin vahvasti maailman pankkisysteemeissä, tämän kaltaista kirjallisuuskatsausta ei kenties ole nähty tarpeellisena.

Tämä tutkielma on kuitenkin ainutlaatuinen siinä mielessä, että siihen on kerätty sekä teoreettisia että empiirisiä tutkimuksia pankkisysteemejä. Teoreettisten ja empiiristen tutkimusten kokoaminen yhteen auttaa ymmärtämään, miksi ehdotetut toimet ovat sellaisia kuin tulosaineistossa on ilmaistu: kerroksellisuuden tarkasteleminen johtaa tietynlaisiin tuloksiin ja satunnaisuus taas toisiin, kuten luvun 4 ristiriidoissa havaittiin. Lisäksi ristiriitojen ymmärtäminen helpottuu, kun ymmärtää tutkimusten erilaiset oletukset pankkisysteemistä.

Tämä tutkielma on hyödyllinen pankkisysteemiin ja systeemiseen riskiin kiinnostuneille ja tarjoaa ymmärrettävän lähestymistavan aiheeseen. Tutkielma tarjoaa selityksen reaali maailman pankkisysteemien rakenteelle, tutkimusten metodologian kehitykselle ja selittää, millaisilla toimilla systeemistä riskiä voidaan pienentää. Tutkielmalla voi olla hyötyä sääntelijöille, sillä siinä havaitaan tutkimusten tarpeellisuus osana sääntelyä. Aiheeseen perehtyneille tutkielmalla ei välttämättä ole uutuusarvoa, sillä tutkielmassa ei perehdytä syvällisesti tutkimusten matemaattiseen taustaan ja simulointiin. Lisäksi, ehdotusten käytäntöä tai kvantitatiivisuutta ei käsitellä. Erityisen hyödyllinen tutkielma on niille, joilla ei ole aikaisempaa tietämystä pankkisysteemeistä ja systeemisestä riskistä.

Löydösten rajoituksia ja kontekstia on hieman vaikeampi arvioida. Vaikka lähes kaikki tutkimusaineiston pankkisysteemien rakenteista ovat kerroksellisia, ei voida kiistattomasti sanoa, että kaikki perinteistä pankkitoimintaa noudattavat systeemit olisivat kerroksellisia. Tarvittaisiin lisää tutkimusaineistoa tarkempien määrien kuvaamiseen. Voidaan kuitenkin turvallisesti sanoa, että löydettyjen pankkisysteemien kerroksellisuus on voimassa useiden vuosien päähän. Ainoastaan Meksikon tapauksessa oli havaittu muutoksia rakenteessa finanssikriisin seurauksena, eikä tällöinkään sen perustopologia muuttunut (Martinez-Jaramillo et al. 2014).

Tutkielmassa ei haluttu esittää systeemistä riskiä pienentäviksi toimiksi enempää kuin kahta asiaa selkeistä syistä. Tulosaineistosta havaittiin hajaantuneisuutta niin julkaisujankohdan kuin mallioletusten välillä. Lisäksi ehdotukset olivat jopa ristiriidassa, kun tarkasteltiin tutkimuksia pitkän ajan päässä toisistaan. Tiukemmat pääomavaatimukset ensimmäisen kerroksen pankeille ja hyviksi havaittujen mittaustapojen käyttöönotto eivät ole niin kontekstista ja ajasta riippuvaisia kuin muut tulosaineiston ehdotukset. Näin ollen kyseiset löydökset eivät ole niin rajoittuneita kuin muut, mikä luo niille pätevyyttä ja pidemmän ajan arvoa. On mielenkiintoista seurata, miten ehdotukset realisoituvat tulevaisuudessa ja toistuuko vuodesta 2007 alkanut finanssikriisi uudestaan.

## 6. LÄHTEET

Acharya, V.V., Pedersen, L.H., Philippon, T. & Richardson, M. (2017). Measuring Systemic Risk, *Review of Financial Studies*, Vol. 30(1), pp. 2-47.

Aldasoro, I., Delli Gatti, D. & Faia, E. (2017). Bank networks: Contagion, systemic risk and prudential policy, *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 142 pp. 164-188.

Bank for International Settlements. (2017). High-level Summary of the Basel III Reforms. Available: <https://www.bis.org/bcbs/publ/d424.htm> (28.04.2019)

Battiston, S., Farmer, J.D., Flache, A., Garlaschelli, D., Haldane, A.G., Heesterbeek, H., Hommes, C., Jaeger, C., May, R. & Scheffer, M. (2016). Complexity theory and financial regulation, *Science*, Vol. 351(6275), pp. 818-819.

Bech, M.L. & Atalay, E. (2010). The topology of the federal funds market. in: *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, pp. 5223-5246.

Black, J., Myles, G.D. & Hashimzade, N. (2012). *A Dictionary of Economics*, 4th ed. Oxford University Press,

Boss, M., Elsinger, H., Summer, M. & Thurner, S. (2004). Network topology of the interbank market, *Quantitative Finance*, Vol. 4(6), pp. 677-684.

Brock, W.A., Hommes, C.H. & Wagener, F.O.O. (2009). More hedging instruments may destabilize markets, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 33(11), pp. 1912-1928.

Caccioli, F., Marsili, M. & Vivo, P. (2009). Eroding market stability by proliferation of financial instruments, *EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL B*, Vol. 71(4), pp. 467-479.

Cont, R., Moussa, A. & Santos, E.B. (2010). Network Structure and Systemic Risk in Banking Systems. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1733528> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1733528>

Erdos, P. & Renyi, A. (1960). On the Evolution of Random Graphs. Available at: [https://scholar.google.fi/scholar?hl=fi&as\\_sdt=0%2C5&q=on+the+evolution+of+random+graphs&btnG=&oq=on+the+evolution+of+random+gra](https://scholar.google.fi/scholar?hl=fi&as_sdt=0%2C5&q=on+the+evolution+of+random+graphs&btnG=&oq=on+the+evolution+of+random+gra) (14.03.2018)

Gai, P. & Kapadia, S. (2010). Contagion in financial networks, *Proceedings: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, Vol. 466(2120), pp. 2401-2423.

Glasserman, P. & Young, B.P. (2014). How likely is contagion in financial networks? *JOURNAL OF BANKING & FINANCE*, Vol. 50 pp. 383-399.

- Goddard, J., Molyneux, P. & Wilson, J.O.S. (2009). The financial crisis in Europe: evolution, policy responses and lessons for the future, *Journal of Financial Regulation and Compliance*, Vol. 17(4), pp. 362-380.
- Haldane, A.G. & May, R.M. (2011). Systemic risk in banking ecosystems, *Nature*, Vol. 469(7330), pp. 351-355.
- Hassan, M.K. & Aliyu, S. (2018). A contemporary survey of islamic banking literature, *JOURNAL OF FINANCIAL STABILITY*, Vol. 34 pp. 12-43.
- Kanno, M. (2015). The network structure and systemic risk in the Japanese interbank market, *Japan and the World Economy*, Vol. 36 pp. 102-112.
- Krause, A. & Giansante, S. (2012). Interbank lending and the spread of bank failures: A network model of systemic risk, *Journal of Economic Behavior and Organization*, Vol. 83(3), pp. 583-608.
- Li, X. & Dong, S. (2016). Assessing Interbank Contagion Risk Using Consolidated Data, *International Advances in Economic Research*, Vol. 22(4), pp. 421-432.
- Martinez-Jaramillo, S., Alexandrova-Kabadjova, B., Bravo-Benitez, B. & Solorzano-Margain, J.P. (2014). An empirical study of the Mexican banking system's network and its implications for systemic risk, *JOURNAL OF ECONOMIC DYNAMICS & CONTROL*, Vol. 40 pp. 242-265.
- May, R.M. & Arinaminpathy, N. (2010). Systemic risk: The dynamics of model banking systems, *Journal of the Royal Society Interface*, Vol. 7(46), pp. 823-838.
- Minoiu, C. & Reyes, J.A. (2013). A network analysis of global banking: 1978-2010, *Journal of Financial Stability*, Vol. 9(2), pp. 168-184.
- Mistrulli, P.E. (2011). Assessing financial contagion in the interbank market: Maximum entropy versus observed interbank lending patterns, *Journal of Banking and Finance*, Vol. 35(5), pp. 1114-1127.
- Nier, E., Yang, J., Yorulmazer, T. & Alentorn, A. (2007). Network models and financial stability, *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 31(6), pp. 2033-2060.
- Paltalidis, N., Gounopoulos, D., Kizys, R. & Koutelidakis, Y. (2015). Transmission channels of systemic risk and contagion in the European financial network. in: *Journal of Banking & Finance*, pp. S52.
- Reinhart, C.M. & Rogoff, K.S. (2008). Is the 2007 US Sub-Prime Financial Crisis So Different? An International Historical Comparison, *American Economic Review*, Vol. 98(2), pp. 339-344.
- Roukny, T., Battiston, S. & Stiglitz, J.E. (2016). Interconnectedness as a source of uncertainty in systemic risk, *Journal of Financial Stability*,



Silva, W., Kimura, H. & Sobreiro, V.A. (2017). An analysis of the literature on systemic financial risk: A survey. in: *Journal of Financial Stability*, pp. 91-114.

Teteryatnikova, M. (2014). Systemic risk in banking networks: Advantages of "tiered" banking systems, *JOURNAL OF ECONOMIC DYNAMICS & CONTROL*, Vol. 47 pp. 186-210.

Upper, C. (2011). Simulation methods to assess the danger of contagion in interbank markets, *Journal of Financial Stability*, Vol. 7(3), pp. 111-125.